

Эффективность применения систем обработки балластных вод на судах, заходящих в морской порт Новороссийск, Черное море

О. Н. Ясакова^{1*}, О. Т. Зуйков², Ю. Б. Окологдов³

¹ Южный Научный Центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

² Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Администрация морских портов Черного моря», Новороссийск, Россия

³ Laboratorio de Botánica Marina y Planctología, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías,
Universidad Veracruzana, Veracruz, México

* e-mail: yasak71@mail.ru

Аннотация

Цель работы – оценить качество очистки судового балласта от фито- и микрозоопланктона с помощью различных систем обработки балластных вод. В основу анализа эффективности систем очистки легли результаты исследования таксономического состава и численности фито- и микрозоопланктона в 19 пробах балластных вод после их обработки в судовых системах. Отбор проб морского балласта был осуществлен на борту 12 нефтяных танкеров и семи сухогрузов, прибывших из портов стран Средиземноморского бассейна, Тропической Западной Африки и северо-западной части Индийского океана и заходивших под погрузку в морской порт Новороссийск в октябре 2022 г. – марте 2023 г. Исследования показали, что в 90 % всех случаев использования установок результат очистки балластных вод от одноклеточных организмов удовлетворял стандарту D-2 Международной конвенции о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими. Балласт 10 % исследованных судов (из портов Турции в Мраморном и Эгейском морях), оснащенных системами *DESMI CompactClean CC-500* (способ очистки: фильтрация + обработка ультрафиолетом) и *Pureballast 3.2 1500 EX* (способ очистки: обработка ультрафиолетом), не соответствовал стандарту качества очистки. После обработки численность одноклеточных водорослей в балласте составляла $1.19 \cdot 10^6$ и $1.21 \cdot 10^4$ кл./л соответственно. Балластные воды судов из Суэцкого залива и Мавритании представляли собой умеренную угрозу/опасность для окружающей среды: численность микроводорослей составляла $7.16 \cdot 10^3$ и $2.03 \cdot 10^3$ кл./л соответственно. Всего обнаружено 20 видов микроводорослей: 13 диатомовых, 6 динофлагеллят, 1 силикофлагеллят и несколько не идентифицированных до вида таксонов водорослей, а также инфузории. Наиболее часто встречались *Proboscia alata* и *Prorocentrum micans*. Видов планктонных водорослей, классифицируемых как вселенцы в Черное море, в балласте обнаружено не было.

© Ясакова О. Н., Зуйков О. Т., Окологдов Ю. Б., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Ключевые слова: балластные воды, морской балласт, порт Новороссийск, системы обработки балласта, таксономический состав, фитопланктон, Черное море, антропогенное загрязнение, биологические инвазии, виды-вселенцы

Благодарности: авторы выражают благодарность за предоставленную возможность провести исследования балластных вод капитану морского порта Новороссийск С. А. Урюпину и за осуществление отбора проб судового балласта инспекторам ФГБУ «АМП Черного моря» О. В. Синайскому, А. Б. Крыловскому и А. А. Рассохи-ну, а также Н. А. Околотковой (Мехико, Мексика) за подготовку карты, таблицы микрофотографий и графической аннотации, С. Н. Оленину (Институт морских исследований при Клайпедском университете, Клайпеда, Литва) за помощь с литературой, Nina Lundholm (Department of Biology, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark) за консультацию по роду диатомовых *Pseudo-nitzschia* и М. М. Gowing (Seattle, WA, USA) за помощь в редактировании английского текста. Публикация подготовлена в рамках государственного задания ЮНЦ РАН № 122011900153-9.

Для цитирования: Ясакова О. Н., Зуйков О. Т., Околотков Ю. Б. Эффективность применения систем обработки балластных вод на судах, заходящих в морской порт Новороссийск, Черное море // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2023. № 4. С. 134–154. EDN OERTEH.

Efficacy of Ballast Water Treatment Systems Installed Onboard Ships Entering the Seaport of Novorossiysk, the Black Sea

O. N. Yasakova^{1*}, O. T. Zuykov², Y. B. Okolodkov³

¹ *Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russia*

² *The Federal State Budgetary Institution*

"Administration of Seaports of the Black Sea", Novorossiysk, Russia

³ *Laboratorio de Botánica Marina y Plancología, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías, Universidad Veracruzana, Veracruz, México*

* e-mail: yasak71@mail.ru

Abstract

The paper aims to assess the quality of ballast-water purification of phyto- and microzooplankton using various ballast-water treatment systems. The analysis of treatment systems performance was based on the results of the study of phyto- and microzooplankton taxonomic composition and abundance in 19 samples of ballast-water treatment after their treatment in the ships' systems. The samples were taken onboard 12 oil tankers and 7 bulk carriers originating from the ports representing the Mediterranean basin, tropical West Africa and the NW Indian Ocean. The vessels entered the seaport of Novorossiysk for cargo loading from October 2022 to March 2023. In 90 % of all cases of the systems use, the ballast-water purification of unicellular organisms met the Regulation D-2 Ballast Water Performance Standard of the International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. The ballast of 10 % of the vessels (from Turkish ports in the Marmara and Aegean Seas) equipped with DESMI CompactClean CC-500 (treatment by filtration + UV) and Pureballast 3.2 1500 EX (treatment by UV system) did not meet the cleaning quality standard: $1.19 \cdot 10^6$ and $1.21 \cdot 10^4$ cells/L, respectively, were detected after treatment. The ballast waters of vessels from the Gulf of Suez and Mauritania represented a moderate risk in terms of cell

abundance ($7.16 \cdot 10^3$ and $2.03 \cdot 10^3$ cells/L, respectively). In total, 20 microalgal species were found: diatoms (13), dinoflagellates (6), a silicoflagellate (1), several algae taxa not identified to species, as well as ciliata. *Proboscia alata* and *Prorocentrum micans* were the most frequent. No planktonic algae classified as invasive to the Black Sea were found.

Keywords: ballast water, marine ballast, seaport of Novorossiysk, ballast water systems, taxonomic composition, phytoplankton, Black Sea, anthropogenic pollution, biological invasion, invasive species

Acknowledgments: The authors are grateful to the Captain of the Port of Novorossiysk S. A. Uryupin for the opportunity to examine ballast waters, to the inspectors of the Federal State Budgetary Institution "Administration of Seaports of the Black Sea" O. V. Sinayskiy, A. B. Krylovskiy and A. A. Rassokhin for sampling, as well as to N. A. Okolodkova (Mexico City, Mexico) for preparing the map, plate of micrographs and graphical abstract, S. N. Olenin (Marine Research Institute, Klaipeda University, Klaipeda, Lithuania) for help with the literature, Nina Lundholm (Department of Biology, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark) for consulting us about the diatom genus *Pseudo-nitzschia* and M. M. Gowing (Seattle, WA, USA) for improving the English style. The manuscript was prepared within the framework of the federal state task of the Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, no. 122011900153-9.

For citation: Yasakova, O.N., Zuykov, O.T. and Okolodkov, Y.B., 2023. Efficacy of Ballast Water Treatment Systems Installed Onboard Ships Entering the Seaport of Novorossiysk, the Black Sea. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (4), pp. 134–154.

Введение

Проблема биологического загрязнения – одна из важнейших в списке вопросов антропогенного влияния на экосистемы Мирового океана. Ежедневно в масштабе планеты суда переносят от 3000 до 4000 видов организмов [1, 2]. Непроизвольный и неконтролируемый перенос микроводорослей и их цист в балластных водах судов начался в 1870-х гг. Вследствие стремительного развития металлургии деревянные корпуса судов сменились металлическими, а вместо камней, гравия или песка в качестве балласта стали использовать заборную воду [3].

Современный состав флоры и фауны Черного моря сложился под воздействием пресных вод Азовского моря и крупных европейских рек с одной стороны и под влиянием средиземноморских вод – с другой, поэтому он имеет смешанный характер и включает как пресноводные, так и морские виды. Естественная миграция видов из средиземноморского бассейна через проливы Босфор и Дарданеллы в Черное море и распространение их в акватории моря под влиянием течений существовала всегда с момента образования пролива Босфор (предположительно, 8–10 тыс. лет назад [4]), существует и в настоящее время.

Несмотря на то, что соленость в поверхностном слое не превышает 18 ЕПС, у моря низкий «биологический иммунитет» против видов-вселенцев ввиду значительной доли реликтовых и эндемичных видов¹⁾. В акватории Черного моря в последние полвека было обнаружено более 200 новых для этого

¹⁾Зайцев Ю. П. Введение в экологию Черного моря. Одесса : Эвен, 2006, 224 с.

региона видов флоры и фауны, прибывших из других районов Мирового океана, при этом около 150 средиземноморских видов успешно адаптировались к новым условиям [5, 6]. К началу XX в. более 40 видов-вселенцев стали обычными обитателями Черного и Азовского морей [7]. Прогнозируют возрастание скорости вселения новых видов в Черное море (до двух видов в год), основными причинами которого являются увеличение интенсивности судоходства и нарушение стабильности экосистемы вследствие эвтрофирования [8, 9].

Не всякое вселение чужеродных организмов завершается ощутимым экологическими и экономическими последствиями, однако такие случаи были зафиксированы. Так, вселение североамериканского гребневика *Mnemiopsis leidyi* A. Agassiz (Ctenophora: Tentaculata: Bolinopsidae) в Черное море в начале 1980-х гг. привело к снижению численности европейского анчоуса (хамсы) *Engraulis encrasicolus* (L.) (Clupeiformes: Engraulidae) и других видов промысловых рыб. Вследствие этого экономические потери составили 240 млн. долл. США в год²⁾.

Большинство клеток фитопланктона не выживают в темных балластных танках. Однако покоящиеся стадии видов планктонных диатомовых и динофлагеллят оказались жизнеспособными даже после их транспортировки в осадках на дне балластных танков в течение шести месяцев при температуре 4 °C [10]. Исследования микроводорослей 343 судов, заходивших в 18 портов Австралии, показали, что 65 % судов несли в танках значительное количество осадков [11]. Из морских микроводорослей на динофлагелляты приходится подавляющее большинство токсичных видов, и почти все токсичные виды динофлагеллят способны к фотосинтезу.

С целью снижения экологических, эпидемиологических и других нагрузок на водную среду, вызванных сбросом неочищенных балластных вод с судов, в 2004 г. Международная морская организация (*International Maritime Organization, IMO*) приняла «Международную конвенцию о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими» (2004 *International Convention for the Control and Management Ships' Ballast Water and Sediments*)³⁾. Конвенция предусматривает пять стандартных процедур очистки балластных вод. Первый наиболее надежный метод предотвращения интродукции нежелательных видов-вселенцев – полное исключение сброса балластных вод в акватории портов. Остальные четыре метода связаны с обработкой балластных вод для минимизации риска сброса нежелательных организмов. Как показала практика⁴⁾, все они далеки от совершенства [8, 12–15]. Второй метод – уменьшение концентрации морских организмов в водяном балласте, принимаемом

²⁾ Exotic species in the Aegean, Marmara, Black, Azov and Caspian Seas / Edited by Yu. Zaitsev, B. Öztürk. Istanbul : Turkish Marine Research Foundation, 2001. 267 p.

³⁾ 2004 International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. London : International Maritime Organization, 2004. 28 p.

⁴⁾ Кудюкин А. А. Обработка балластных вод в судовых условиях: мировой опыт, технологические подходы. Экспертная оценка предложений национальных производителей. Первые результаты выводы // IV научно-практический семинар по проблеме управления водяным балластом судов (для специалистов научных учреждений, связанных с проблемой судоходства, морской биологии, экологии и охраны природы), г. Одесса, Украина, 26–27 августа 2003 года : отчет о семинаре. Одесса, Украина. С. 19–23.

судном, путем ограничения количества воды, выбора мест приема и т. д. Третий метод – береговая обработка балласта. Четвертый, наиболее широко применяемый метод заключается в смене балласта в водах открытого моря или океана (стандарт *D-1*). Пятый, наиболее эффективный метод заключается в обработке водяного балласта на борту судна (стандарт *D-2*) – стандарт качества балластных вод, который предусматривает наличие на судах установки обработки балластных вод (*ballast water treatment system, BWTS*). Используемые *BWTS* должны обеспечивать сброс в морскую среду менее 10 жизнеспособных организмов размером от 50 мкм на один кубический метр и менее 10 жизнеспособных организмов размером от 10 до 50 мкм на один миллилитр. К 2010 г. было известно около 60 *BWTS*, и с каждым годом появляются новые [15].

ИМО разработала несколько технологических методов этого процесса⁵⁾, которые можно разбить на четыре группы [16]: 1) физические (нагревание, обработка ультразвуком, ультрафиолетовым излучением, ионизация серебром и т. п.); 2) механические (фильтрация); 3) химические (озонирование, удаление кислорода, хлорирование, применение биореагентов и т. п.); 4) биологические (добавление в балластную воду хищных или паразитических организмов с целью уничтожения нежелательных видов-вселенцев).

Результаты исследования различных методик обработки балластных вод показали, что среди этих методов почти нет достаточно эффективных и экономичных [17].

Для минимизации ущерба от биологического загрязнения *ИМО* обязала весь торговый флот применять правила управления балластными водами *D-1* (полная смена или последовательная трехкратная прокачка морского балласта) в акватории водоема-реципиента. При этом конвенция предусматривает, что суда, построенные в 2017 г. и позже, должны соответствовать стандарту *D-2*. В обязательных постановлениях по морскому порту Новороссийск допускается сброс балласта при условии соблюдения стандартов *D-1* и *D-2*.

В 2008 г. *ИМО* разработала и опубликовала руководство по утверждению к использованию установок обработки балластных вод (*MEPC*, 2008). В руководстве определены минимальные технические характеристики *BWTS* и требования к технической документации. В данном руководстве также рассмотрены условия проведения тестов и желаемые результаты анализа проб балластных вод, особое внимание уделено размеру и концентрации живых организмов, включая некоторые виды бактерий⁶⁾.

Многолетние (2004–2019 гг.) мониторинговые исследования морской среды, проведенные в акваториях крупных российских торговых портов и курортных городов, а также в открытых районах северо-восточной части Черного моря, показали, что, несмотря на применение стандартов *D-1* и *D-2*, в последние десятилетия здесь продолжают появляться новые виды-вселенцы [5, 18–20]. Следует помнить, что некоторые из них нанесли значительный экономический ущерб, как это было с появлением гребневика *Mnemiopsis leidyi*.

⁵⁾ Guidelines for development of a national ballast water management strategy / J. Tamelander [et al.]. London ; Gland : GEF-UNDP-IMO GloBallast, 2010. 43 p.

⁶⁾ Resolution MEPC.174(58). Guidelines for approval of ballast water management systems (G8). MEPC 58/23, Annex 4. 2008. 28 p.

В литературе освещены результаты исследования фито- и зоопланктона в балластных водах для оценки эффективности применения стандарта *D-1* [20–22]. При этом публикаций о результатах применения стандарта *D-2* на практике меньше, и в основном они касаются микробиологических исследований [23]. Сведений об эффективности длительного применения на практике судовых установок обработки балластных вод с целью минимизации концентрации в них растительных и животных планктонных организмов опубликовано не было. Цель нашего исследования – оценить качество очистки судового балласта от фито- и микрозоопланктона с помощью *BWTS* на судах, заходивших в порт Новороссийск в 2022–2023 гг.

Материалы и методы

Отбор 19 проб балластных вод, прошедших процедуру очистки на *BWTS*, был осуществлен инспекторами Федерального государственного бюджетного учреждения «Администрация морских портов Черного моря» с помощью судового цилиндрического металлического пробоотборника объемом 1 л через балластные отверстия на борту 19 судов (12 нефтяных танкеров и 7 сухогрузов), заходивших в морской порт Новороссийск под погрузку с октября 2022 г. по март 2023 г. (табл. 1). Суда принимали балласт в портах следующих стран (рис. 1): Румынии (Черное море, 1 судно), Турции (8 судов), Греции (1 судно), Италии (1) и Туниса (1) (страны Средиземного моря), Мавритании (1) (тропическая западная Африка), Египта (5 судов) (Суэцкий залив Красного моря, Индийский океан) и Ирана (1 судно) (Персидский залив, Индийский океан). Пробы морского балласта фиксировали нейтральным формалином до конечной концентрации 1–2 % ⁷⁾ и в наземной лаборатории сгущали методом осаждения в цилиндрах диаметром 5.3 см и высотой 36 см в течение 2–3 недель. Количественный учет организмов фитопланктона проводили с помощью микроскопа «МИКМЕД-2» («ЛОМО», Санкт-Петербург, Россия) методом светлого поля в проходящем свете с использованием ахроматических объективов производства «ЛОМО» (Санкт-Петербург, Россия) 10×/0.30 и 40×/0.65 в счетной камере Нажотта (Nageotte) объемом 0.05 мл. Для определения редких и крупных видов фитопланктона и микрозоопланктона просматривали часть концентрата (1/2–1/10) либо всю пробу в камере Седжвика – Рафтера (Sedgwick–Rafter) объемом 1 мл. Минимальный размер учитываемых клеток составлял 3–5 мкм. Расчет численности фитопланктона производили по формуле

$$N = \frac{V_2 \cdot n}{V_1 \cdot V_3},$$

где V_1 – объем профильтрованной воды, мл; V_2 – объем концентрата, мл; V_3 – объем счетной камеры, мл; n – количество клеток в счетной камере. Таксономическую принадлежность организмов определяли по общепринятым

⁷⁾ Макаревич П. Р., Дружков Н. В. Методические рекомендации по анализу количественных и функциональных характеристик морских биоценозов северных морей. Ч. 1. Фитопланктон. Зоопланктон. Взвешенное органическое вещество. Апатиты, 1989. 50 с.

Т а б л и ц а 1. Информация об исследованных судах, заходивших под погрузку в морской порт Новороссийск в 2022–2023 гг., оборудовании, способах обработки балластных вод и концентрации фито- и микрозоопланктона после обработки

T a b l e 1. Characteristics of the surveyed vessels entering the seaport of Novorossiysk for loading in 2022-2023, the ballast water systems and the phyto- and zooplankton abundance after the ballast water treatment

Номер судна / Vessel number	Дата отбора проб балласта / Sampling date	Порт принятия балласта / Port of ballast water loading	Название и тип судна, флаг / Vessel name and type, flag	Тип BWTS / Type of BWTS	Объем балласта, м³ / Ballast volume, m³	Метод очистки на BWTS / BWTS treatment method	Общая численность организмов, кл./л / Total abundance of organisms, cells/L
1	19.10.2022	Суэц, Египет / Suez, Egypt	BEKS FENIX, нефтяной танкер, Маршалловы острова / BEKS FENIX, oil product carrier, Marshall Islands	HMT-1500-EX	17 152	Электрокатализ / Electrocatalysis	H/O / N/D
2	22.10.2022	Искендерун, Турция / Iskenderun, Turkey	MV POSEIDONS, балкер, Либерия / MV POSEIDONS, bulk carrier, Liberia	HMT-800	12 714	Электрокатализ / Electrocatalysis	H/O / N/D
3	23.10.2022	Айи-Теодори, Греция / Agioi Theodoroi, Greece	MT PHOENIX AN, нефтяной танкер, Мальта / MT PHOENIX AN, oil tanker, Malta	Hiballast BWMS-HUB-1000-EX	14 025	Электрохлорирование + нейтрализация / Electrochlorination + Neutralization	H/O / N/D
4	28.10.2022	Дамietta, Египет / Damietta, Egypt	MV CLEAR SKY, балкер, Панама / MV CLEAR SKY, bulk carrier, Panama	BalClor BC-1000	17 359	Электролиз + фильтрация / Electrolysis + Filtration	21
5	31.10.2022	Тузла, Турция / Tuzla, Turkey	GEORGY MASLOV, нефтяной танкер, Либерия / GEORGY MASLOV, crude oil tanker, Liberia	NK-03-Blue Ballast II Plus	37 998	Озонирование + нейтрализация / Ozone Injection + Neutralization	4

Продолжение таблицы 1 / Continued Table 1

Номер судна / Vessel number	Дата отбора проб балласта / Sampling date	Порт принятия балласта / Port of ballast water loading	Название и тип судна, флаг / Vessel name and type, flag	Тип BWTS / Type of BWTS	Объем балласта, м³ / Ballast volume, m³	Метод очистки на BWTS / treatment method	Общая численность организмов, кл./ Total abundance of organisms, cells/L
6	31.10.2022	Суэц, Египет / Suez, Egypt	CALIPSO, балкер, Либерея / CALIPSO, bulk carrier, Liberia	BalClor BC-2000	19 994	Электролиз + фильтрация / Electrolysis + Filtration	H/O / N/D
7	31.10.2022	Константа, Румыния / Constanta, Romania	ELANDA OSPREY, нефтяной танкер, Либерея / ELANDA OSPREY, oil tanker, Liberia	HiBallast TM System HIB-2000 - EX	44 764	Электролиз + фильтрация / Electrolysis + Filtration	16
8	12.11.2022	Тутунцифлик, Турция / Tutunciflik, Turkey	MARINER A, нефтяной танкер-химовоз, Мальта / MARINER A, oil-chemical Tanker, Malta	HiBallast NF System	16 651	Электролиз + фильтрация / Electrolysis + Filtration	8
9	09.12.2022	Айн-Сохна, Египет / Ain Sokhna, Egypt	ИКРА, нефтяной танкер, Панама / IKARA, crude oil tanker, Panama	Ecochlor Series 200	46 801	Хлорирование + фильтрация / Chlorine system + Filtration	H/O / N/D
10	11.12.2022	Искендерун, Турция / Iskenderun, Turkey	VIVA ECLIPSE, балкер, Панама / VIVA ECLIPSE, bulk carrier, Panama	Erma First FIT 800	13 973	Электролиз + фильтрация / Electrolysis+ Filtration	27
11	14.12.2022	Ла Схира, Тунис / La Skhirra, Tunisia	HISTRIA PERLA, нефтяной танкер-химовоз, Мальта / HISTRIA PERLA, oil-chemical tanker, Malta	Pure Ballast 3:2	16 773	Обработка ультрафиолетом + фильтрация / Filter + UV treatment	6

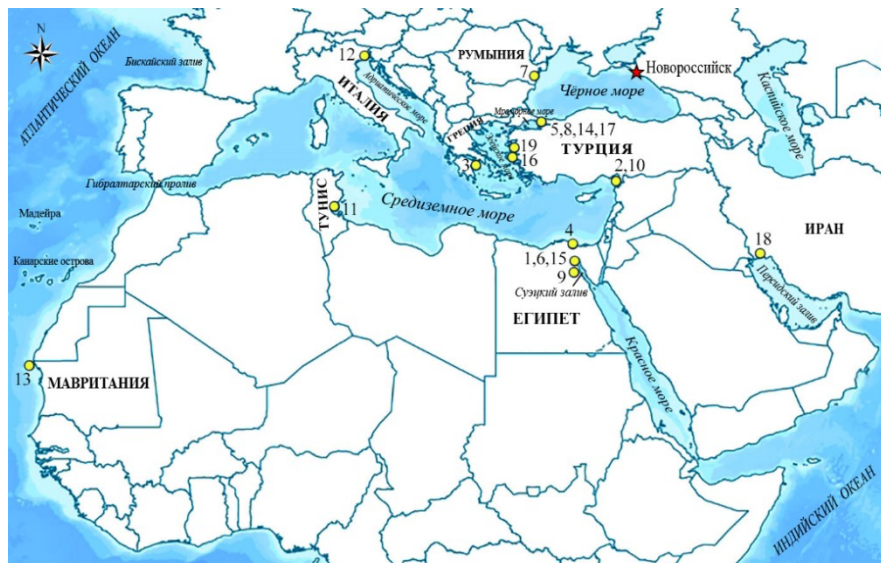
Продолжение таблицы 1 / Continued Table 1

Номер судна / Vessel number	Дата отбора проб балласта / Sampling date	Порт принятия балласта / Port of ballast water loading	Название и тип судна, флаг / Vessel name and type, flag	Тип BWTS / Type of BWTS	Объем балласта, м³ / Ballast volume, m³	Метод очистки на BWTS / BWTS treatment method	Общая численность организмов, кл./л. / Total abundance of organisms, cells/L
12	16.12.2022	Монфальконе, Италия / Porto Monfalcone, Italy	YASAR KEMAL, балкер, Панама / YASAR KEMAL, bulk carrier, Panama	Blue Ocean Shield BOS 300	11 390	Обработка ультрафиолетом + фильтрация / Filter + UV treatment	6
13	15.01.2023	Нуадибу, Мавритания / Nouadhibou, Mauritania	SEA HELIOS, нефтяной танкер, Мальта / SEA HELIOS, oil tanker, Malta	Gloen-1200 Patrol	18 840	Фильтрация + обработка ультрафиолетом / Filter + UV treatment	2034
14	26.02.2022	Тузла, Турция / Tuzla, Turkey	NISSOS PAROS, нефтяной танкер, Греция / NISSOS PAROS, oil tanker, Greece	Ex-Elis-3000B 1:1	36 204	Электролиз + электрохлорирование / Electrolysis + Electrochlorination	368
15	28.02.2023	Суэц, Египет / Suez, Egypt	EUROSTRENGTH, нефтяной танкер, Либерия / EUROSTRENGTH, oil tanker, Liberia	Erma First BWTS FIT-3000	34 400	Электролиз + фильтрация / Electrolysis + Filtration	7163
16	03.03.2023	Измир, Турция / Izmir, Turkey	SEA PEARL J, балкер, Барбадос / SEA PEARL J, bulk carrier, Barbados	DESMI Compact Clean CC-500	11 332	Обработка ультрафиолетом + фильтрация / Filtration + UV treatment	1 190 862

Номер судна / Vessel number	Дата отбора проб балласта / Sampling date	Порт принятия балласта / Port of ballast water loading	Название и тип судна, флаг / Vessel name and type, flag	Тип BWTS / Type of BWTS	Объем балласта, м³ / Ballast volume, m³	Метод очистки на BWTS / BWTS treatment method	Общая численность организмов, кл./л / Total abundance of organisms, cells/L
17	14.03.2023	Тузла, Турция / Tuzla, Turkey	MRC BELIZ, нефтяной танкер-химовоз, Мальта / MRC BELIZ, oil chemical tanker, Malta	Pureballast 3.2 1500 EX	23 202	Обработка ультрафиолетом / UV System	12 057
18	27.03.2023	Порт имени Имама Хомейни (ВК), Иран / Port of BANDAR IMAM KHOMEINI (ВК), Iran	MV LEGENDI, балкер, Либерия / MV LEGENDI, bulk carrier, Liberia	Electro-Cleen System ECS-1350B	18 397	Электролиз + нейтрализация / Electrolysis + Neutralization	9
19	31.03.2023	Алиага, Турция / Aliaga, Turkey	ТАНТИ, нефтяной танкер, Мальта / TANTI, oil carrier, Malta	Ecoclor Inc./Et-5000-4.0 Series 200	45 153	Хлорирование + фильтрация / Chlorine system + Filtration	H/O / N/D

Примечание: Материалы получены из Ballast Water Reporting Form (Resolution A.868(20) / Information obtained from the Ballast Water Reporting Form (Resolution A.868(20)).

H/O – не обнаружено / N/D – not determined.



Р и с. 1. Пути доставки балластных вод в 2022–2023 гг. на борту исследованных судов из портов балластировки (желтые кружки) в порт назначения Новороссийск, Россия, Черное море (обозначен красной звездочкой). Арабскими цифрами указан номер исследованного судна рядом с местонахождением порта происхождения (см. табл. 1)

Fig. 1. The routes of the ballast water transport in 2022–2023 onboard the surveyed ships from the ports of origin (yellow circles) to the port of destination (Novorossiysk, Russia, the Black Sea; marked with a red star). The examined vessels are indicated on the map by Arabic numerals at the location of their ports of origin (see Table 1)

руководствам^{8), 9)}. За жизнеспособные принимали неповрежденные клетки водорослей с ярко окрашенными хлоропластами. Кроме того, были учтены случайно попавшие в пробы целые, без видимых разрушений организмы животных.

Результаты

В пробах исследуемого судового балласта было обнаружено 20 видов планктонных водорослей, относящихся к четырем высшим таксономическим категориям: Bacillariophyceae (диатомовые), Dinoflagellata (динофитовые), Dictyochophyceae (силикофлагелляты) и Euglenophyceae (эвгленовые) (табл. 2, рис. 2). Наибольшим видовым богатством отличались диатомовые (13 видов) и динофлагелляты (6 видов). Силикофлагелляты были представлены одним видом *Dictyocha speculum*, кроме того, в балласте некоторых судов встречались эвгленовые *Euglena* sp. Общая численность жизнеспособных водорослей в каждой пробе исследуемого балласта варьировала от 0 до $1.19 \cdot 10^6$ кл./л.

⁸⁾ Dodge J. D. Marine dinoflagellates of the British Isles. London : Her Majesty's Stationary Office, 1982. 303 p.

⁹⁾ Identifying marine phytoplankton / Ed. by C. Tomas. San Diego : Academic Press, Inc., 1997. 821 p.

Т а б л и ц а 2. Таксономический состав одноклеточных планктонных организмов в балластных водах исследованных судов

T a b l e 2. Taxonomic composition of unicellular planktonic organisms in the ballast water of the surveyed ships

Таксоны / Taxa	Номер судна (см. табл. 1), в балласте которого были обнаружены живые клетки фито- и микрозоопланктона / Number of the vessel (Table 1), in the ballast of which live cells of phyto- and microzooplankton were found
-------------------	---

ФИТОПЛАНКТОН

BACILLARIOPHYCEAE

<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder (рис. 2, a)	16
<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve (рис. 2, b)	16
<i>Coscinodiscus</i> sp. * (рис. 2, c)	15, 16
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle	4
<i>Ditylum brightwellii</i> (T. West) Grunow * (рис. 2, d)	14, 17
<i>Melosira moniliformis</i> (O.F. Müller) C. Agardh	17
<i>Nitzschia tenuirostris</i> Manguin	13, 15,
<i>Proboscia alata</i> (Brightw.) Sundström * (рис. 2, e)	10, 14, 15, 16, 17
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden complex sp. (рис. 2, f)	7, 15, 16, 17
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> (Cleve) H. Perag. complex sp.	14, 15, 16, 17
<i>Pseudo-nitzschia</i> sp.	14
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) B.G. Sundström *	13, 14, 16, 17
<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cleve (рис. 2, g)	15, 16, 17
<i>Sundstroemia setigera</i> (Brightw.) Medlin in Medlin et al. (= <i>Rhizosolenia setigera</i> Brightw.) ** (рис. 2, h)	12, 17
<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschk. (рис. 2, i)	5, 14, 15, 16
<i>Thalassiosira</i> sp. (рис. 2, j)	4, 7, 17

DINOFLAGELLATA

<i>Alexandrium</i> sp.	14
<i>Ensiculifera carinata</i> Matsuoka, Kobayashi et Gains	16
<i>Gonyaulax</i> sp.	16
<i>Prorocentrum compressum</i> (J.W. Bailey) T.H. Abé ex J.D. Dodge (рис. 2, l)	13
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenb. (рис. 2, m)	10, 11, 13, 14, 16
<i>Prorocentrum scutellum</i> Schröd. (рис. 2, n)	11, 14, 15, 17
<i>Prorocentrum</i> sp.	14
<i>Protoperidinium</i> sp. *	16
<i>Scrippsiella acuminata</i> (Ehrenb.) Kretschmann (рис. 2, o)	16
<i>Tripes furca</i> (Ehrenb.) F. Gómez, 2013 * (рис 2, k)	16

Таксоны / Taxa	Номер судна (см. табл. 1), в балласте которого были обнаружены живые клетки фито- и микрозоопланктона / Number of the vessel (Table 1), in the ballast of which live cells of phyto- and microzooplankton were found
DICTYOCOPHYCEAE	
<i>Dictyocha speculum</i> Ehrenb.	16
EUGLENOPHYCEAE	
<i>Euglena</i> sp.	8
МИКРОЗООПЛАНКТОН	
PROTOZOA	
<i>Amphorellopsis acuta</i> (Schmidt, 1902)	10
Ciliophoragen. sp. (? <i>Euplotes</i> sp.)	13, 15, 18
Ciliophoragen. sp. (? <i>Vorticella</i> sp.) (рис. 2, p)	18

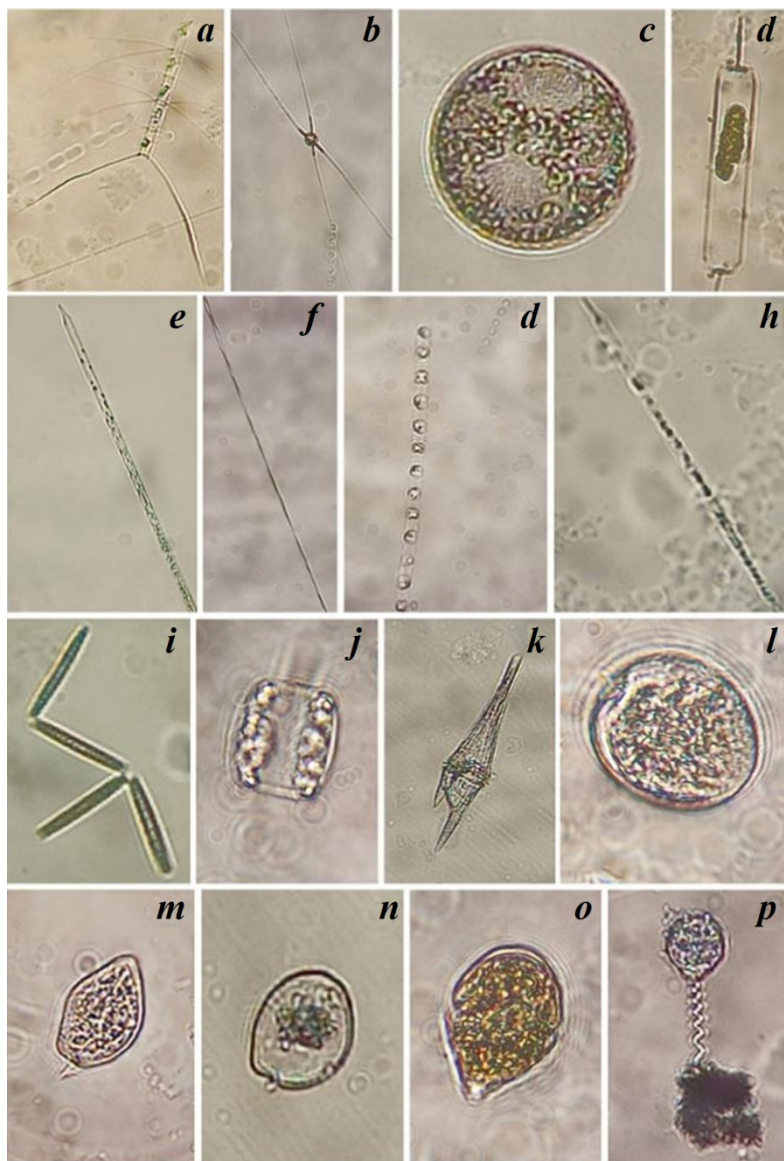
* Виды, длина клеток которых превышает 50 мкм. / The species with cells of > 50 µm long.

** Вид, нехарактерный для планктона северо-восточной части Черного моря. / Species not characteristic of the northeastern Black Sea.

Общая численность живых организмов микрозоопланктона (инфузорий) колебалась от 0 до $6.20 \cdot 10^3$ кл./л.

В балластных водах шести судов (1–3, 6, 9 и 19) из девятнадцати (32 % всех случаев) не было обнаружено живых организмов (100 %-ная очистка балласта). Эти суда использовали BWTS типов HMT-1500-EX, HMT-800, HiBallast BWMS-HUB-1000-EX, BalClor BC-2000, Ecochlor Series 200, Ecochlor Inc./Et-5000-4.0 Series 200. Конструкция этих систем основана на следующих методах очистки: электрокатализе, электролизе + фильтрации, хлорировании + фильтрации, электрохлорировании + нейтрализации.

Системы DESMI CompactClean CC-500 (способ очистки: фильтрация + обработка ультрафиолетом) и Pureballast 3.2 1500 EX (способ очистки: обработка ультрафиолетом), используемые на судах 16 и 17 (10 % всех случаев), не справились с очисткой морского балласта: численность одноклеточных водорослей ($1.21 \cdot 10^4$ и $1.19 \cdot 10^6$ кл./л) в их балласте превышала установленные стандартом D-2 допустимые концентрации живых организмов размером от 10 до 50 мкм (не более $1.00 \cdot 10^4$ кл./л) в водах балласта. Причем если в случае судна 17 (регион принятия балласта: Мраморное море, порт Тузла, Турция) это превышение было незначительным – в 1.2 раза, то численность клеток фитопланктона в балластных водах судна 16 (регион принятия балласта: Эгейское море, порт Измир, Турция) превышала предельно допустимую стандартом D-2 концентрацию в 119 раз. Неудовлетворительная степень очистки морского балласта на этих судах могла быть связана с неправильной эксплуатацией либо неэффективной работой балластных установок.



Р и с. 2. Фито- и зоопланктон, обнаруженный в балластных водах исследованных судов (световой микроскоп): а – *Chaetoceros affinis*; б – *Chaetoceros danicus*; с – *Coscinodiscus* sp.; д – *Ditylum brightwellii*; е – *Proboscia alata*; ф – *Pseudo-nitzschia* sp.; г – *Skeletonema costatum*; h – *Sundstroemia setigera*; и – *Thalassionema nitzschoides*; j – *Thalassiosira* sp.; k – *Tripos furca*; л – *Prorocentrum compressum*; m – *Prorocentrum micans*; n – *Prorocentrum scutellum*; o – *Scrippsiella acuminata*; p – *Ciliophora* gen. sp. (?*Vorticella* sp.)

F i g. 2. Phyto- and zooplankton found in the ballast water of the surveyed vessels (light microscope): а – *Chaetoceros affinis*; б – *Chaetoceros danicus*; с – *Coscinodiscus* sp.; д – *Ditylum brightwellii*; е – *Proboscia alata*; ф – *Pseudo-nitzschia* sp.; г – *Skeletonema costatum*; h – *Sundstroemia setigera*; и – *Thalassionema nitzschoides*; j – *Thalassiosira* sp.; k – *Tripos furca*; л – *Prorocentrum compressum*; m – *Prorocentrum micans*; n – *Prorocentrum scutellum*; o – *Scrippsiella acuminata*; p – *Ciliophora* gen. sp. (?*Vorticella* sp.)

На борту остальных одиннадцати судов (4, 5, 7, 8, 10–15 и 18 – 58 % случаев) находились системы *BWTS* классов *NK-03-Blue-Ballast II Plus*, *HiBallast TM System HIB-2000-EX*, *HiBallast NF System*, *Erma First FIT-800*, *Pure Ballast 3:2*, *Blue Ocean Shield BOS 300*, *Gloen-1200 Patrol*, *Ex-Els-3000B 1:1*, *Erma First BWTS FIT-3000*, *Electro-Cleen System ECS-1350B*. В основу их работы легли следующие методы очистки: электролиз + нейтрализация, электролиз + фильтрация, электролиз + электрохлорирование, обработка ультрафиолетом + фильтрация, озонирование + нейтрализация. Эти системы справились с задачей обезвреживания балластных вод: содержание живых клеток фитопланктона в балластной воде составило от 4 до 963 кл./л, микрозоопланктона (инфузории – Ciliophora) – не превышало $6.20 \cdot 10^3$ кл./л, что соответствовало стандарту *D-2*: сброс менее 10 жизнеспособных организмов размером от 10 до 50 мкм/мл, то есть не более $1.00 \cdot 10^4$ тыс. кл./л. Следует отметить, что концентрация крупноклеточных (длиной более 50 мкм) видов фитопланктона (в основном диатомовых *Proboscia alata*, *Pseudosolenia calcar-avis* и *Ditylum brightwellii*), обнаруженных в балласте судов 10.12–17 (37 % случаев), составила от 2 до 312 кл./л (то есть от 2 до $3.1 \cdot 10^5$ кл./м³) и вышла за рамки требований стандарта *D-2*: сброс менее 10 жизнеспособных организмов размером более 50 мкм/м³. Поскольку ширина клеток этих видов водорослей не превышала 30 мкм, балласт судов, в котором они были обнаружены, можно назвать условно чистым.

Обсуждение

В опубликованной литературе, содержащей результаты анализа проб балластных вод и осадков, большинство исследований были проведены на сухогрузах [24]. Наше исследование основано на пробах фитопланктона, взятых в балластных танках 12 нефтяных танкеров и 7 сухогрузов.

Все обнаруженные в балластных водах виды одноклеточных¹⁰⁾ водорослей были ранее найдены в Черном море [25]. Однако обитающая в южной части Черного моря диатомовая *Sundstroemia setigera* не характерна для его северо-восточной части¹¹⁾. Хотя этот вид не токсичен, его можно отнести к разряду потенциально вредных: своими длинными и жесткими щетинками, находящимися на обоих концах клетки, он способен ранить жаберный аппарат анчоусовых (хамсы *Engraulis encrasicolus*), мелких сельдевых видов рыб (шпрота *Sprattus sprattus* (L.), Clupeiformes: Clupeidae) и тюльки – *Clupeonella cultriventris* (von Nordmann), Clupeiformes: Ehiravidae. Аналогичным образом диатомовые¹²⁾ *Chaetoceros convolutus* Castracane и *C. concavicornis* L.A. Mangin ранят жаберный аппарат других видов рыб [26–29].

Не определенные до вида таксоны из двух комплексов рода *Pseudonitzschia* (табл. 1), возможно, представляют собой наибольшую угрозу для экосистемы и здоровья человека. Они могут вызывать синдром амнезийного

¹⁰⁾ Phytoplankton Check List / Seventh Framework Programme. UP-GRADE BS-SCENE project, Work Package 9. Deliverable D 9-1-3 Annex A. Grant agreement No. 226592. 2010. 66 p.

¹¹⁾ Black Sea phytoplankton checklist / L. Boicenko [et al.]. 2014.

¹²⁾ Hasle G. R., Fryxell G. A. Taxonomy of diatoms // Manual on harmful marine microalgae. Paris : UNESCO, 1995. P. 339–364. (IOC Manual and Guides ; No. 33).

отравления морепродуктами (*amnesic shellfish poisoning*), кроме того, среди них есть потенциально токсичные, способные к выработке домоиковой кислоты. Из *Pseudo-nitzschia delicatissima* complex в Черном море найдены *P. delicatissima* и *P. prolongatoides* (Hasle) Hasle, из *P. pseudodelicatissima* complex – *P. inflatula* (Hasle) Hasle, из *Pseudo-nitzschia seriata* complex – *P. seriata* и *P. pungens*¹⁰⁾. Из них *P. delicatissima*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens* и *P. seriata* потенциально токсичные.

Виды рода *Alexandrium* производят нейротоксины и токсины, вызывающие паралитическое отравление моллюсками (*paralytic shellfish poisoning*). В некоторых случаях они становятся причиной гибели рыб [30].

Инфузорий, по-видимому, следует считать одними из наиболее часто встречающихся зоофлагеллат, транспортируемых с балластными водами [2]. Например, при микроскопическом исследовании морского балласта, привезенного из Японии в штат Вашингтон (тихоокеанское побережье США), в половине проб осадков из танков были обнаружены живые инфузории размером 5–30 мкм; из осадков также был культивирован вид эвгленовых *Eutreptiella* sp. [31]. В целом простейшие являются доминирующим компонентом биоты балластных вод [32].

Таким образом, наши исследования показали, что не во всех случаях использования разных типов *BWTS* на борту судов, сбрасывавших балласт в порту Новороссийск, была достигнута 100 %-ная очистка балластных вод от живых организмов. Использование ряда балластных установок у 32 % исследуемых судов показало отличный результат (100 %-ная очистка балласта). Удовлетворяющий стандарту *D-2* результат очистки был отмечен еще у 58 % судов: их судовые установки не полностью обезвреживали балласт, но значительно снижали в нем численность жизнеспособных организмов. В 10 % всех исследованных случаев результат очистки балластных вод оставался неудовлетворительным (сохранялась высокая численность живых организмов в балластных водах).

Черное море входит в систему Средиземноморского бассейна и на протяжении последних 8–10 тыс. лет интенсивно обменивается водами со Средиземным морем, поэтому таксономические составы морской флоры и фауны этих двух водоемов имеют значительное сходство [4]. Процесс медитеранизации Черного моря за последние полвека существенно ускорился. Под медитеранизацией фауны понимают приобретение фауной Черного и Азовского морей средиземноморского облика в результате постоянного проникновения в воды этих морей средиземноморских видов животных. В биогеографическом контексте термин ввел И. И. Пузанов в 1960 г.¹³⁾ За период 1960–2010 гг. в северной и западной частях Черного моря было обнаружено более 100 новых видов растений и животных средиземноморского происхождения, 43 вида из которых успешно адаптировалась к новым условиям [5].

Поскольку большинство из исследованных нами судов (12 из 19) принимали балластные воды исключительно в акватории Средиземноморского бассейна (см. рис. 1), можно предположить сценарий относительно низкого риска. Однако следует учесть значительную долю судов, прибывших из портов

¹³⁾ Пузанов И. И. По нехоженому Крыму. Москва : Географгиз, 1960. 286 с.

Суэцкого залива (Красное море), побережья Тропической Западной Африки и Персидского залива (Индийский океан). Ожидается, что при проникновении в акваторию Черного моря вероятность вредного воздействия от живых организмов средиземноморского происхождения будет меньше, чем от видов, поступающих из других регионов Мирового океана. В этом контексте повышенные концентрации фитопланктона, транспортированного с балластными водами в порт Новороссийск из Суэцкого залива ($7.16 \cdot 10^3$ кл./л; судно 15) и Мавритании ($2.03 \cdot 10^3$ кл./л; судно 13), могут представлять умеренный риск. Однако без более детальных исследований видового состава и жизнеспособности клеток оценить реальную степень риска пока невозможно.

В целом предполагается, что из грузовых судов именно сухогрузы стран, экспортирующих сырье (древесину, зерно, сахар, уголь, железную руду), представляют наибольший риск, так как именно эта категория судов в течение 50 % времени находится в море с балластными водами и после доставки груза нуждается в полной замене его балластом [31]. Ранее было проведено детальное исследование фитопланктона, собранного с помощью 10-литрового батометра в балластных водах девяти судов в штате Северная Каролина (атлантическое побережье США) с последующим фильтрованием через набор сит (333, 62 и 33 мкм) и культивированием. В результате этого исследования в морском балласте удалось обнаружить 342 вида микроводорослей: в основном синезеленых, динофлагеллят, диатомовых и зеленых [33]. Это количество значительно превышает число видов, найденное другими авторами, что позволяет предположить, что в какой-либо момент времени на всей планете суда переносят тысячи видов фитопланктона. Таким образом, большинство опубликованных результатов исследований фитопланктона балластных вод не дают реальной картины риска, связанного с заносом микроводорослей-вселенцев в новые регионы. Кроме того, не следует забывать о роли внутри-региональных морских перевозок в распространении видов-вселенцев [34].

В балластных водах судов в Европейском регионе зеленые и синезеленые водоросли также были обычным компонентом биоты [2], хотя в наших пробах они не были найдены. Этот факт, вероятно, связан с полным или почти полным отсутствием крупных рек в местах забора морского балласта. Следует отметить, что эти две таксономические группы наиболее характерны для пресноводных водоемов.

Считаем, что продолжение контроля биологического разнообразия балластных вод с целью оценки эффективности применения различных типов *BWTS* для обезвреживания балласта является одним из приоритетных направлений в сфере прикладных научных исследований РАН и Министерства транспорта Российской Федерации. Однако без знания местного биоразнообразия, что относится к области фундаментальных исследований, невозможно отделить инвазивные виды от местных обитателей.

Заключение

Биологическое загрязнение является одной из важнейших в списке проблем антропогенного влияния на экосистемы Мирового океана. С целью снижения экологических, эпидемиологических и других нагрузок на водную среду, вызванных сбросом неочищенных балластных вод с судов, Международная морская организация обязала весь торговый флот с 2004 г. следовать

стандарту *D-1* в акватории водоема-реципиента, а с 2017 г. все новые суда должны соответствовать стандарту *D-2*, который предусматривает наличие на судах установки обработки балластных вод (*BWTS*). В обязательных постановлениях по морскому порту Новороссийск допускается сброс балласта с применением стандартов *D-1* и *D-2*. В статье впервые для российских вод приводятся результаты исследования качества очистки судового балласта от одноклеточных планктонных организмов с помощью *BWTS* на судах, заходивших в порт Новороссийск.

Исследования балластных вод были проведены на 19 судах (12 нефтяных танкеров и 7 сухогрузов), заходивших в морской порт Новороссийск под погрузку с октября 2022 г. по март 2023 г. Суда принимали балласт в портах следующих стран: Румыния (Черное море), Турция, Греция, Италия и Тунис (страны Средиземного моря), Мавритании (тропическая западная Африка), Египта (Суэцкий залив Красного моря, Индийский океан) и Ирана (Персидский залив, Индийский океан). На наш взгляд, наибольший риск заноса с балластными водами вредных организмов в экосистему Черного моря представляют суда, прибывшие из более отдаленных портов из наиболее теплых вод: акватории Красного моря, прибрежных вод Тропической Западной Африки и Индийского океана.

В пробах исследованного судового балласта было обнаружено 20 видов планктонных водорослей. Наибольшим видовым богатством отличались диатомовые (13 видов) и динофлагелляты (6 видов). Кроме того, были обнаружены инфузории *Amphorellopsis acuta*, *Euplotes* sp. и *Vorticella* sp. Все обнаруженные в балластных водах виды одноклеточных организмов обычны для Черного моря. Среди них обнаружены и потенциально опасные представители диатомовых и динофитовых. Общая численность жизнеспособных водорослей в каждой пробе исследуемого балласта варьировала от 0 до $1.19 \cdot 10^6$ кл./л. Общая численность живых организмов микрозоопланктона (инфузорий) колебалась от 0 до $6.20 \cdot 10^3$ кл./л.

В балластных водах шести судов (32 % всех случаев) отсутствовали живые организмы (100 % очистка балласта). Эти суда использовали системы *BWTS* типов: *HMT-1500-EX*, *HMT-800*, *HiBallast BWMS-HUB-1000-EX*, *BalClor BC-2000*, *Ecochlor Series 200*, *Ecochlor Inc./Et-5000-4.0 Series 200*. Конструкция этих систем основана на следующих методах очистки: электрокатализе, электролизе + фильтрации, хлорировании + фильтрации, электрохлорировании + нейтрализации.

Системы *DESMI CompactClean CC-500* (обработка ультрафиолетом + фильтрация) и *Pureballast 3.2 1500 EX* (только обработка ультрафиолетом), установленные на двух судах (10 % всех случаев), прибывших из Мраморного (порт Тузла, Турция) и Эгейского морей (порт Измир, Турция), не справились с очисткой морского балласта. Численность микроводорослей ($1.21 \cdot 10^4$ и $1.19 \cdot 10^6$ кл./л соответственно) в их балласте превышала установленные стандартом *D-2* допустимые концентрации живых организмов.

Системы 11 из 19 судов (58 % случаев) справились с задачей обезвреживания балластных вод: содержание живых клеток фито- и микрозоопланктона в их балласте соответствовало стандарту *D-2*. Это *BWTS* классов *NK-03-Blue-Ballast II Plus*, *HiBallast TM System HIB-2000-EX*, *HiBallast NF System*, *Erma First FIT 800*, *Pure Ballast 3:2*, *Blue Ocean Shield BOS 300*, *Gloen-1200 Patrol*,

Ex-Els-3000B 1:1, Erma First BWTS FIT-3000, Electro-Cleen System ECS-1350B. Эти системы используют следующие методы очистки: электролиз + нейтрализация, электролиз + фильтрация, электролиз + электрохлорирование, обработка ультрафиолетом + фильтрация, озонирование + нейтрализация.

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование разных типов *BWTS* на борту судов не всегда обеспечивает 100%-ную очистку балластных вод от живых организмов. Поэтому продолжение исследований и биологического контроля балластных вод с целью оценки эффективности применения различных типов *BWTS* для обезвреживания балласта, а также мониторинг местного биоразнообразия являются ключевыми задачами для минимизации возможного биологического загрязнения акватории Черного моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Carlton J. T.* The scale and ecological consequences of biological invasions in the world's oceans // *Invasive species and biodiversity management* / Edited by O. T. Sandlund, P. J. Schei, A. Viken. Dordrecht, the Netherlands : Kluwer Academic Publishers, 1999. P. 195–212. doi:10.1007/978-94-011-4523-7_13
2. *Life in ballast tanks* / S. Gollasch [et al.] // *Invasive aquatic species in Europe. Distribution, impacts and management* / Edited by E. Leppäkoski, S. Gollasch, S. Olenin. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2002. P. 217–231. doi:10.1007/978-94-015-9956-6_23
3. *Carlton J. T.* Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water // *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*. 1985. Vol. 23. P. 313–371.
4. *Сорокин Ю. И.* Черное море: природа, ресурсы. Москва : Наука, 1982. 217 с.
5. Увеличение числа находок средиземноморских видов в Черном море / Т. А. Шиганова [и др.] // *Российский журнал биологических инвазий*. 2012. Т. 3. С. 61–99. EDN RTHZUB.
6. *Шаловенков Н. Н.* Тенденции вселения чужеродных видов зообентоса в Черное море // *Российский журнал биологических инвазий*. 2020. Т. 1. С. 72–80. EDN BPCRNV.
7. The Black Sea – a recipient, donor and transit area for alien species / M.-T. Gomoiu [et al.] // *Invasive aquatic species in Europe. Distribution, impacts and management* / Edited by E. Leppäkoski, S. Gollasch, S. Olenin. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2002. P. 341–350. doi:10.1007/978-94-015-9956-6_23
8. *Звягинцев А. Ю., Гук Ю. Г.* Оценка экологических рисков, возникающих в результате биоинвазий в морские прибрежные экосистемы Приморского края (на примере морского обрастания и балластных вод) // *Известия ТИНРО*. 2006. Т. 145. С. 3–38. EDN HYZDBT.
9. *Gomoiu M. T.* Impacts of naval transport development on marine ecosystems and invasive species // *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2001. Vol. 2, iss. 2. P. 475–481.
10. Microalgal spores in ship's ballast water: a danger to aquaculture / G. M. Hallegraeff // *Toxic marine phytoplankton* / Edited by E. Granéli, B. Sundström, L. Edler, D. M. Anderson. New York ; Amsterdam ; London : Elsevier Science Publishing Co., 1990. P. 475–480.
11. *Hallegraeff G. M., Bolch C. J.* Transport of dinoflagellate cysts in ship's ballast water: implications for plankton biogeography and aquaculture // *Journal of Plankton Research*. 1992. Vol. 14, iss. 8. P. 1067–1084. doi:10.1093/plankt/14.8.1067
12. *Козлов Д. Н.* К вопросу очистки балластных вод от биологических загрязнений на судах рыболовного флота // *Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования*. 2013. № 2. С. 112–123. EDN SGYNVR.

13. *Bolch C. J., Hallegraeff G. M.* Chemical and physical options to kill toxic dinoflagellate cysts in ships' ballast water // *Journal of Marine Environmental Engineering*. 1993. Vol. 1. P. 23–29.
14. *Rigby G., Hallegraeff G.* Ballast water controls to minimise the translocation and establishment of toxic marine phytoplankton – what progress have we made and where are we going? // *Harmful and toxic algal blooms : proceedings of the Seventh International Conference on Toxic Phytoplankton*, Sendai, Japan, 12–16 July 1995. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, 1996. P. 169–176.
15. *Satir T.* Ballast water treatment systems: design, regulations, and selection under the choice varying priorities // *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 21. P. 10686–10695. doi:10.1007/s11356-014-3087-1
16. Effect of a ballast water treatment system on survivorship of natural populations of marine plankton / T. F. Sutherland [et al.] // *Marine Ecology Progress Series*. 2001. Vol. 210. P. 139–148. doi:10.3354/meps210139
17. *Hallegraeff G. M.* Transport of toxic dinoflagellates via ships' ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast management strategies // *Marine Ecology Progress Series*. 1998. Vol. 168. P. 297–309. doi:10.3354/meps168297
18. *Болтачева Н. А., Лисицкая Е. В., Подзорова Д. В.* Распространение полихет-вселенцев в биотопах северной части Черного моря // *Российский журнал биологических инвазий*. 2020. № 4. С. 15–33. EDN ZLJJFT.
19. *Ясакова О. Н.* Состояние планктонного альгоценоза северо-восточного шельфа Черного моря в период 2015–2019 гг. // *Наука Юга России*. 2020. Т. 16, № 4. С. 39–50. EDN RWJYR. doi:10.7868/S25000640200405
20. *Yasakova O. N.* New species of phytoplankton in the northeastern part of the Black Sea // *Russian Journal of Biological Invasions*. 2011. Vol. 2, iss. 1. P. 65–69. doi:10.1134/S2075111711010103
21. *Матишов Г. Г., Селифонова Ж. П.* Опыт контроля балластных вод коммерческих судов в порту Новороссийск // *Вестник Южного Научного Центра РАН*. 2006. Т. 2, № 3. С. 58–62. EDN KVYTHD. doi:10.23885/1813-4289-2006-2-3-58-62
22. *Звягинцев А. Ю., Селифонова Ж. П.* Исследования балластных вод коммерческих судов в морских портах России // *Российский журнал биологических инвазий*. 2008. Т. 2. С. 22–33. EDN PWCNXJ.
23. О результатах мониторинговых исследований балластных вод и данных идентификации штаммов вибрионов, выделенных в ходе исследований судов в российских морских портах в 2018 году / С. Ю. Водяницкая [и др.] // *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии*. 2020. Т. 97, № 1. С. 55–61. EDN HOXMLH. doi:10.36233/0372-9311-2020-97-1-55-61
24. Cargo vessel ballast water as a vector for the transport of non-indigenous marine species / R. J. Williams [et al.] // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 1988. Vol. 26, iss. 4. P. 409–420. doi:10.1016/0272-7714(88)90021-2
25. Revision of the dinoflagellate species composition of the Black Sea / A. F. Krakhmalnyi [et al.] // *Algology*. 2018. Vol. 28, iss. 4. P. 428–448. doi:10.15407/alg28.04.428
26. *Bell G. R.* Penetration of spines from a marine diatom into the gill tissue of lingcod (*Ophiodon elongatus*) // *Nature*. 1961. Vol. 192. P. 279–280. doi:10.1038/192279b0
27. *Albright L. J., Yang C. Z., Johnson S.* Sub-lethal concentrations of the harmful diatoms, *Chaetoceros concavicornis* and *C. convolutus*, increase mortality rates of penned Pacific salmon // *Aquaculture*. 1993. Vol. 117, iss. 3–4. P. 215–225. doi:10.1016/0044-8486(93)90321-O

28. Yang S. Z., Albright L. J. Effects of the harmful diatom *Chaetoceros concavicornis* on respiration of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* // Diseases of Aquatic Organisms. 1992. Vol. 14. P. 105–114.
29. Dickman M., Zhang F. Mid-ocean exchange of container vessel ballast water. 2: Effects of vessel type in the transport of diatoms and dinoflagellates from Manzanillo, Mexico, to Hong Kong, China // Marine Ecology Progress Series. 1999. Vol. 176. P. 253–262. doi:10.3354/meps176253
30. Ясакова О. Н. Сезонная динамика потенциально токсичных и вредоносных видов планктонных водорослей в Новороссийской бухте (Черное море) // Биология моря. 2013. Т. 39, № 2. С. 98–105. EDN QAYUQX.
31. Kelly J. M. Ballast water and sediments as mechanisms for unwanted species introductions into Washington State // Journal of Shellfish Research. 1993. Vol. 12, iss. 2. P. 405–410.
32. Hülsmann N., Galil B. S. Protists – a dominant component of the ballast-transported biota // Invasive Aquatic Species in Europe. Distribution, Impacts and Management / Edited by E. Leppäkoski, S. Gollasch, S. Olenin. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2002. P. 20–26. doi:10.1007/978-94-015-9956-6
33. McCarthey H. P., Crowder L. B. An overlooked scale of global transport: phytoplankton richness in ships' ballast water // Biological Invasions. 2000. Vol. 2. P. 321–322. doi:10.1023/A:1011418432256
34. Biological invasions of estuaries without international shipping: the importance of intraregional transport / K. Wasson [et al.] // Biological Conservation. 2001. Vol. 102. P. 143–153. doi:10.1016/S0006-3207(01)00098-2

Поступила 16.06.2023 г.; одобрена после рецензирования 13.07.2023 г.; принята к публикации 11.10.2023 г.; опубликована 20.12.2023 г.

Об авторах:

Ясакова Ольга Николаевна, старший научный сотрудник, Южный научный центр РАН (344006, Россия, Ростов-на-Дону, ул. Чехова, 41), кандидат биологических наук, **ORCID ID: 0000-0002-0728-6836**, yasak71@mail.ru

Зуйков Олег Тихонович, заместитель руководителя, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Администрация морских портов Черного моря» (353925, Россия, Новороссийск, ул. Хворостянского, 2), кандидат технических наук, **ORCID ID: 0009-0002-5130-2570**, oleg@ampnovo.ru

Окологдов Юрий Борисович, исследователь, Институт морских и рыбохозяйственных наук, Университет Веракрус (Mar Mediterráneo 314, Fracc. Costa Verde, Boca del Río, Veracruz, Mexico), доктор биологических наук, **ORCID ID: 0000-0003-3421-3429**, yuriokolodkov@yahoo.com

Заявленный вклад авторов:

Ясакова Ольга Николаевна – проведение исследования, обработка проб морского балласта, описание результатов исследования, качественный анализ результатов и их интерпретация

Зуйков Олег Тихонович – разработка концепции, формулировка и постановка задачи исследования, проведение критического анализа материалов, связанных с технической стороной исследования

Окологдов Юрий Борисович – анализ результатов и их интерпретация, подготовка графических материалов, редактирование рукописи

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.